

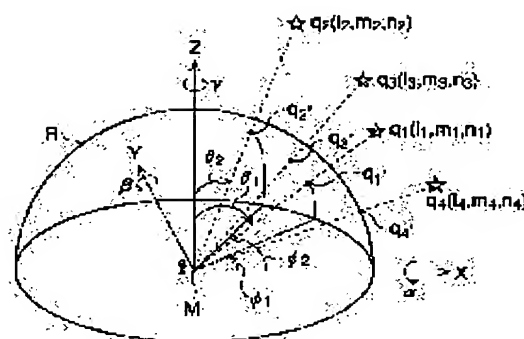
(11)Publication number : **11-101640**  
(43)Date of publication of application : **13.04.1999**

(21)Application number : **10-212496** (71)Applicant : **ASAHI OPTICAL CO LTD**  
(22)Date of filing : **28.07.1998** (72)Inventor : **UESONO SHINOBU**

Priority number : 09219919      Priority date : 31.07.1997      Priority country : JP

(57)Abstract:

**SOLUTION:** Photographing is carried out from different directions at a photographing point M a plurality of times and fixed stars  $q_i$  ( $i=1-4$ ) are photographed commonly in a plurality of the pictures. The inclination of the optical axis of the camera in relation to the x-axis, y-axis, and z-axis is calculated for each photographing performance of a plurality of times based on the measured values of three rotation angle sensors of the camera. The directional cosine values ( $l_i, m_i, n_i$ ) of the fixed star  $q_1$  are respectively calculated from a fixed star table. The expected image point position of the fixed star  $q_1$  in each picture is calculated based on the inclination of the optical axis of the camera and the directional cosine values of the fixed star  $q_1$  and the distortion aberration to lower the error of the positions of the fixed star  $q_1$  in the actual pictures from the practically measured image  $p$  is calculated and also the CCD pitch intervals and the degree of the center of the image surface and the point of the optical axis are computed.



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-101640

(43)公開日 平成11年(1999) 4月13日

(51)Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	F I
G 0 1 C 11/00		G 0 1 C 11/00
G 0 1 B 11/00		G 0 1 B 11/00 H
G 0 3 B 19/02		G 0 3 B 19/02
G 0 6 T 1/00		H 0 4 N 5/232 Z
H 0 4 N 5/232		G 0 6 F 15/64 4 0 0 E
審査請求 未請求 請求項の数12 O L (全 14 頁)		

(21)出願番号 特願平10-212496

(22)出願日 平成10年(1998) 7月28日

(31)優先権主張番号 特願平9-219919

(32)優先日 平 9 (1997) 7月31日

(33)優先権主張国 日本 (J P)

(71)出願人 000000527

旭光学工業株式会社

東京都板橋区前野町 2丁目36番 9号

(72)発明者 上岡 忍

東京都板橋区前野町 2丁目36番 9号 旭光

学工業株式会社内

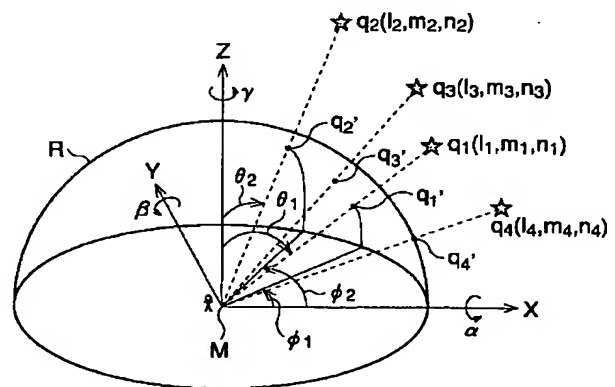
(74)代理人 弁理士 松浦 孝

(54)【発明の名称】 カメラおよびカメラのキャリブレーション方法

(57)【要約】

【課題】 相対位置関係が正確な複数の物点を備えた被写体を用いずに、カメラのキャリブレーションを容易に行う。

【解決手段】 撮影地点Mにおいて異なる方向から複数回の撮影を行い、複数枚の写真上に恒星 $q_i$  ( $i=1\sim 4$ )を共通して写し込む。複数回のそれぞれの撮影におけるX軸、Y軸、Z軸に関するカメラの光軸の傾きを、カメラの3つの回転角センサによる測定値に基づいて求める。恒星 $q_i$ の方向余弦( $l_i, m_i, n_i$ )を星表からそれぞれ求める。キャリブレーション装置によって、カメラ光軸の傾きと恒星 $q_i$ の方向余弦とに基づいてそれぞれの写真上における恒星 $q_i$ の予測像点位置を算出し、実際の写真上における恒星 $q_i$ の実測像点位置との誤差を最小にする歪曲収差、CCDピッチ間隔、および光軸が像面に交差するときの交点と像面中心とのずれ量を求める。



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項1】 撮影光学系と、

複数の恒星を異なる角度から撮影することにより、前記撮影光学系を介して複数の記録画像を得る記録手段と、前記記録手段によって得られた複数の前記記録画像に基

いてキャリブレーションを行うキャリブレーション手段とを備え、前記キャリブレーション手段によって、前記記録画像における像面中心と前記撮影光学系の光軸がこの像面に交

差するときの交点とのずれ量と、前記撮影光学系の歪曲収差との少なくとも一方が、撮影時における前記複数の恒星の座標値に基づいて算出されることを特徴とするカメラ。

【請求項2】 前記恒星の座標値が撮影地点を原点とする天球における方向余弦で表われ、この方向余弦が星表に基づいて求められることを特徴とする請求項1に記載のカメラ。

【請求項3】 前記撮影光学系の光軸傾きを検出する検\*  
CCDピッチ間隔をパラメータに加えない場合  
(銀塩カメラの場合)

$$\Phi = \sum_i \left[ \sum_j \{ (CX_{ij} - NX_{ij})^2 + (CY_{ij} - NY_{ij})^2 \} \right] \quad (1)$$

CCDピッチ間隔をパラメータに加える場合  
(デジタルカメラの場合)

$$\Phi = \sum_i \left[ \sum_j \{ (CX_{ij}/P_x - MX_{ij})^2 + (CY_{ij}/P_y - MY_{ij})^2 \} \right]$$

ただし、

$(CX_{ij}, CY_{ij})$  : 予測像点座標

$(NX_{ij}, NY_{ij})$  : 記録画像(写真)上の像点座標(実測像点座標)

$(MX_{ij}, MY_{ij})$  : 記録画像(デジタル画像)上の像点座標(実測像点座標)

$(x_i, y_i, z_i)$  : 物点*i*の3次元座標

$(P_x, P_y)$  : CCDピッチ間隔

【請求項5】 前記複数の恒星が星座を形成する恒星に含まれることを特徴とする請求項1に記載のカメラ。

【請求項6】 前記記録手段が多数の画素からなる撮像素子を備え、前記キャリブレーション手段によって、前記記録画像における像面中心と前記光軸がこの像面に交

\* 出手段を備え、前記キャリブレーション手段によって、前記検出手段から得られた光軸傾きに関するデータと前記恒星の座標値とに基づいて前記記録画像における恒星の計算上の像点位置が求められ、この計算上の像点位置が前記ずれ量のデフォルト値と前記歪曲収差のデフォルト値とに基づいて補正されることにより前記記録画像における恒星の予測像点位置が求められ、この予測像点位置と前記撮影光学系から得られた前記記録画像における恒星の実測像点位置との誤差を最小にする前記ずれ量と前記歪曲収差とが求められることより、前記ずれ量と前記歪曲収差とが更新されることを特徴とする請求項1に記載のカメラ。

【請求項4】 前記誤差が次式に示されるメリット関数Φであり、減衰最小二乗法により前記ずれ量と前記歪曲収差とが求められることを特徴とする請求項3に記載のカメラ。

【数1】

収差と、前記記録画像面における隣り合う画素間距離との少なくとも一つが算出されることを特徴とする請求項1に記載のカメラ。

【請求項7】 カメラの撮影光学系を介して得られた複数の記録画像に基づいて、前記カメラのキャリブレーションを行うキャリブレーション方法であって、前記複数の

の記録画像が複数の恒星を異なる角度から撮影することにより得られ、キャリブレーションによって前記記録画像における像面中心と焦点とのずれ量と、前記撮影光学系の歪曲収差との少なくとも一方が、撮影時における前記複数の恒星の座標値に基づいて算出されることを特徴とするカメラのキャリブレーション方法。

【請求項8】 前記恒星の座標値が、撮影地点を原点とする天球における方向余弦で表わされ、この方向余弦が星表に基づいて求められることを特徴とする請求項7に記載のカメラのキャリブレーション方法。

【請求項9】 前記撮影光学系の光軸傾きに関するデータと前記恒星の座標値とに基づいて、前記記録画像における恒星の計算上の像点位置が求められ、この計算上の\*

CCDピッチ間隔をパラメータに加えない場合  
(銀塩カメラの場合)

$$\Phi = \sum_i \left[ \sum_j \{ (CX_{ij} - NX_{ij})^2 + (CY_{ij} - NY_{ij})^2 \} \right] \quad (1)$$

CCDピッチ間隔をパラメータに加える場合  
(デジタルカメラの場合)

$$\Phi = \sum_i \left[ \sum_j \{ (CX_{ij}/P_x - MX_{ij})^2 + (CY_{ij}/P_y - MY_{ij})^2 \} \right]$$

ただし、

$(CX_{ij}, CY_{ij})$  : 予測像点座標

$(NX_{ij}, NY_{ij})$  : 記録画像(写真)上の像点座標(実測像点座標)

$(MX_{ij}, MY_{ij})$  : 記録画像(デジタル画像)上の像点座標(実測像点座標)

$(x_i, y_i, z_i)$  : 物点  $i$  の3次元座標

$(P_x, P_y)$  : CCDピッチ間隔

【請求項11】 前記複数の恒星が星座を形成する恒星に含まれることを特徴とする請求項10に記載のカメラのキャリブレーション方法。

【請求項12】 前記カメラが多数の画素からなる撮像素子を備えた電子スチルカメラであり、前記記録画像における像面中心と前記撮影光学系の光軸がこの像面に交差するときの交点とのずれ量と、前記撮影光学系の歪曲収差と、前記記録画像面における隣り合う画素間距離との少なくとも1つが算出されることを特徴とする請求項7に記載のカメラのキャリブレーション方法。

【発明の詳細な説明】

\* 像点位置が前記ずれ量のデフォルト値と前記歪曲収差のデフォルト値とに基づいて補正されることにより、前記記録画像における恒星の予測像点位置が求められ、この予測像点位置と前記撮影光学系から得られた前記記録画像における恒星の実測像点位置との誤差を最小にする前記ずれ量と前記歪曲収差とが求められることにより、前記ずれ量と前記歪曲収差とが更新されることを特徴とする請求項7に記載のカメラのキャリブレーション方法。

【請求項10】 前記誤差が次式に示されるメリット関数  $\Phi$  であり、減衰最小二乗法により前記ずれ量と前記歪曲収差とが求められることを特徴とする請求項9に記載のカメラのキャリブレーション方法。

【数1】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、例えば写真測量において、測量前にキャリブレーションを行うカメラおよびそのキャリブレーション方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 従来写真測量では、測量に先立って個々のカメラに特有のレンズ歪みや精度を補正するためのキャリブレーションが行われる。キャリブレーションでは、例えばキャリブレーションを行うべきカメラを用いて撮影が行われ、この撮影により得られた写真等の記録画像から写真測量に必要な補正パラメータが決定され

る。写真測量では、補正パラメータが既知のカメラを用いて被写体の撮影が行われ、得られた記録画像から被写体の位置、形状が演算により求められる。補正パラメータは被写体の位置、形状の精度を向上させるために演算に用いられる。

【0003】補正パラメータは、例えば撮影光学系の焦点距離、記録画像における像面中心と撮影光学系の光軸がこの像面と交差するときの交点とのずれ量、撮影光学系の歪曲収差を示す歪曲収差パラメータ、撮影光学系の前側主点位置の3次元座標、カメラの光軸傾き、複数の記録画像上に写る共通点の2次元座標、さらにCCD (Charge Coupled Device) を備えた電子スチルカメラの場合は画素間距離であるCCDピッチ間隔などである。

【0004】キャリブレーションでは、キャリブレーション用の被写体、例えば被写体上に目印として設定された複数の物点の相対的な3次元位置が既知の被写体が設置され、このキャリブレーション用の被写体が複数の方向から撮影される。各々の方向からの撮影により得られた記録画像には被写体上の物点が共通して写し込まれ

る。

【0005】補正パラメータは最初に与えられたデフォルト値を最適化することにより求められる。即ち、所定の3次元座標系における複数の物点の3次元座標と、撮影時における撮影光学系の前側主点位置の3次元座標と、補正パラメータのデフォルト値とを用いて各記録画像にそれぞれ設定された2次元座標系における物点の2次元座標、即ち予測像点座標が求められ、この予測像点座標と各記録画像を測定して得られた実際の物点の2次元座標、即ち実測像点座標との誤差が最小になるように、補正パラメータは更新される。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかし、キャリブレーションの精度を向上させるには、複数の写真上に記録される共通点の空間位置を正確にする、即ち被写体を精密に製作する必要がある、非常に手間がかかる。また複数の共通点の間の距離は写真上である程度離れていることが必要であり、このような条件を満たすように測量地点

で被写体を設置するには、煩雑で時間がかかることが問題である。特に画角の大きいカメラの場合、ピント位置が遠くなるために共通点間距離を大きくする、即ち被写体を大きく作る必要があり、この大きな被写体を設置または撮影する場所の確保がより困難になる。

【0007】本発明は、このような点に鑑みてなされたものであり、精密な被写体を必要とせず、かつキャリブレーションの精度の高いカメラおよびカメラのキャリブレーション方法を提供することが目的である。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明によるカメラは、撮影光学系と、複数の恒星を異なる角度から撮影することにより、撮影光学系を介して複数の記録画像を得る記録手段と、記録手段によって得られた複数の記録画像に基いてキャリブレーションを行うキャリブレーション手段とを備え、キャリブレーション手段によって、記録画像における像面中心と撮影光学系の光軸がこの像面に交差するときの交点とのずれ量と、撮影光学系の歪曲収差との少なくとも一方が、撮影時における複数の恒星の座標値に基づいて算出されることを特徴としている。

【0009】カメラにおいて、好ましくは、恒星の座標値が撮影地点を原点とする天球における方向余弦で表わされ、この方向余弦が星表に基づいて求められる。

【0010】カメラにおいて、好ましくは、撮影光学系の光軸傾きを検出する検出手段を備え、キャリブレーション手段によって検出手段から得られた光軸傾きに関するデータと恒星の座標値とに基づいて記録画像における恒星の計算上の像点位置が求められ、この計算上の像点位置がずれ量のデフォルト値と歪曲収差のデフォルト値とに基づいて補正されることにより記録画像における恒星の予測像点位置が求められ、この予測像点位置と撮影光学系から得られた記録画像における恒星の実測像点位置との誤差を最小にするずれ量と歪曲収差とが求められることより、ずれ量と歪曲収差とが更新される。この誤差は次式に示されるメリット関数 $\Phi$ であることが好ましく、この場合減衰最小二乗法によりずれ量と歪曲収差とが求められる。

【数1】

CCDピッチ間隔をパラメータに加えない場合  
(銀塩カメラの場合)

$$\Phi = \sum_i \left[ \sum_j \{ (CX_{ij} - NX_{ij})^2 + (CY_{ij} - NY_{ij})^2 \} \right]$$

CCDピッチ間隔をパラメータに加える場合  
(デジタルカメラの場合)

$$\Phi = \sum_i \left[ \sum_j \{ (CX_{ij}/P_x - MX_{ij})^2 + (CY_{ij}/P_y - MY_{ij})^2 \} \right]$$

(1)

ただし、

$(CX_{ij}, CY_{ij})$  : 予測像点座標

$(NX_{ij}, NY_{ij})$  : 記録画像(写真)上の像点座標(実測像点座標)

$(MX_{ij}, MY_{ij})$  : 記録画像(デジタル画像)上の像点座標(実測像点座標)

$(x_i, y_i, z_i)$  : 物点  $i$  の 3 次元座標

$(P_x, P_y)$  : CCDピッチ間隔

【0011】カメラにおいて、好ましくは複数の恒星が星座を形成する恒星に含まれる。

【0012】カメラにおいて、好ましくは、多数の画素からなる撮像素子を備え、キャリブレーション手段によつて、記録画像における像面中心と光軸がこの像面に交差するときの交点とのずれ量と、撮影光学系の歪曲収差と、記録画像面における隣り合う画素間距離との少なくとも一つが算出される。

【0013】また本発明によるカメラのキャリブレーション方法は、カメラの撮影光学系を介して得られた複数の記録画像に基づいて、カメラのキャリブレーションを行うキャリブレーション方法であつて、複数の記録画像が複数の恒星を異なる角度から撮影することにより得られ、キャリブレーションによつて記録画像における像面中心と焦点とのずれ量と、撮影光学系の歪曲収差との少なくとも一方が、撮影時における複数の恒星の星表上の座標値に基づいて算出されることを特徴とする。

【0014】カメラのキャリブレーション方法において、好ましくは恒星の座標値が、撮影地点を原点とする天球における方向余弦で表わされ、この方向余弦が星表に基づいて求められる。

【0015】カメラのキャリブレーション方法において、好ましくは撮影光学系の光軸傾きに関するデータと恒星の座標値とに基づいて記録画像における恒星の計算上の像点位置が求められ、この計算上の像点位置がずれ量のデフォルト値と歪曲収差のデフォルト値とに基づいて補正されることにより記録画像における恒星の予測像点位置が求められ、この予測像点位置と撮影光学系から得られた記録画像における恒星の実測像点位置との誤差を最小にするずれ量と歪曲収差とが求められることによりずれ量と歪曲収差とが更新される。誤差は次式に示されるメリット関数  $\Phi$  であることが好ましく、この場合減衰最小二乗法によりずれ量と歪曲収差とが求められる。

【数1】

9  
CCDピッチ間隔をパラメータに加えない場合  
(銀塩カメラの場合)

$$\Phi = \sum_i \left[ \sum_j \{ (CX_{ij} - NX_{ij})^2 + (CY_{ij} - NY_{ij})^2 \} \right]$$

CCDピッチ間隔をパラメータに加える場合  
(デジタルカメラの場合)

$$\Phi = \sum_i \left[ \sum_j \{ (CX_{ij}/P_x - MX_{ij})^2 + (CY_{ij}/P_y - MY_{ij})^2 \} \right]$$

(1)

ただし、

$(CX_{ij}, CY_{ij})$  : 予測像点座標

$(NX_{ij}, NY_{ij})$  : 記録画像(写真)上の像点座標(実測像点座標)

$(MX_{ij}, MY_{ij})$  : 記録画像(デジタル画像)上の像点座標(実測像点座標)

$(x_i, y_i, z_i)$  : 物点  $i$  の 3 次元座標

$(P_x, P_y)$  : CCDピッチ間隔

【0016】カメラのキャリブレーション方法において、好ましくは複数の恒星が星座を形成する恒星に含まれる。

【0017】カメラのキャリブレーション方法において、好ましくは、3次元位置データとずれ量のデフォルト値と歪曲収差とのデフォルト値とに基づいて、記録画像における物点の予測像点位置が求められ、この予測像点位置と撮影光学系から得られた記録画像における物点の実測像点位置との誤差を最小にすることにより、ずれ量と歪曲収差とが更新される。

【0018】カメラのキャリブレーション方法において、好ましくは、カメラが多数の画素からなる撮像素子を備えた電子スチルカメラであり、記録画像における像面中心と撮影光学系の光軸がこの像面に交差するときの交点とのずれ量と、撮影光学系の歪曲収差と、記録画像面における隣り合う画素間距離との少なくとも1つが算出される。

【0019】

【発明の実施の形態】以下、本発明によるカメラの実施形態について、添付図面を参照して説明する。

【0020】図1は、本発明による実施形態であるカメラの主要構成を示すブロック図である。カメラ100はデジタルカメラであり、内部に設けられたマイクロコンピュータであるシステムコントロール回路20により、

カメラ100の全体の制御が行われる。

【0021】撮影光学系12により得られた被写体の光学像はCCD13の撮像面に結像される。撮像面に結像された光学像は、CCD13により光電変換されて記録画像1枚分のアナログの画像信号として出力される。記録画像1枚分のアナログの画像信号は、A/D変換器14においてデジタルの画像信号に変換された後、画像信号処理回路16に入力される。デジタルの画像信号は、画像信号処理回路16において記録画像1枚分のメモリ容量を持つ画像メモリ18と協働して、シェーディング補正およびガンマ補正等の所定の信号処理が施され、システムコントロール回路20に出力される。

【0022】カメラ100の内部には、例えばカメラ光軸の3次元位置を定めるための3つの回転角センサ42、43、44が設けられる。回転角センサ43により、鉛直方向に伸びる第1の軸（以下Z軸という）に関するカメラ100の回転角 $\gamma$ が所定時刻毎に測定される。回転角センサ44により、Z軸に垂直であり、所定の方位、例えば北方向に伸びる第2の軸（以下X軸という）に関するカメラ100の回転角 $\alpha$ が測定される。同様に回転角センサ42により、Z軸、X軸と互いに直交する第3の軸（以下Y軸という）に関する回転角 $\beta$ が測定される。

【0023】センサ制御回路40には、3つの回転角セ

ンサ42、43、44と、回転角データメモリ41とが接続される。センサ制御回路40により、システムコントロール回路20からの指令に基づいて各回転角センサの動作制御が行なわれる。それと同時に、3つの回転角センサ42、43、44からの測定値がセンサ制御回路40へ出力される。センサ制御回路40により、撮影時点における回転角（以下、回転角データという）が回転角データメモリ41に格納され、またシステムコントロール回路20と回転角データの授受が行なわれる。

【0024】3つの回転角センサ42、43、44の配置は、理想的にはX軸、Y軸、Z軸の原点となるカメラ100の撮影光学系の前側主点位置と一致させることが望ましい。しかしカメラ100の設計上、前側主点位置と一致する位置には回転角センサ42、43、44が設けられないため、測定値は前側主点位置からのずれが生じる。このため、回転角データメモリ41内には、各回転角センサの撮影光学系12の前側主点位置からのオフセット値が格納されている。そしてセンサ制御回路40は、各回転角センサからの計測値をオフセット値を用いて撮影光学系12の前側主点位置を基準とした回転角データに補正演算し、回転角データの精度を高めている。

【0025】カメラ100にはキャリブレーション装置50が設けられ、このキャリブレーション装置50はシステムコントロール回路20に接続される。キャリブレーション装置50において、システムコントロール回路20から記録画像1枚分の画像データとこの画像データが得られた時の位置データとが読み出され、画像データと対応する位置データとは1組のデータとして対応づけられて共に独自のメモリ52に記録される。メモリ52には複数組分の画像データと位置データとが記録可能である。

【0026】キャリブレーション装置50では、メモリ52と協動してキャリブレーション処理が実行される。即ち、複数組の画像データと位置データとに基づいて、カメラ100の焦点面における撮影光学系12の歪曲\*

$$\begin{pmatrix} l_i \\ m_i \\ n_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sin \theta_i \cos \phi_i \\ \sin \theta_i \sin \phi_i \\ \cos \theta_i \end{pmatrix} \quad \dots (2)$$

$(l_i, m_i, n_i)$  : 恒星  $q_i$  の方向余弦

【0032】まず撮影地点Mにおいて複数の恒星  $q_i$  が異なる方向から  $n$  枚 ( $n \geq 2$ ) 撮影される。恒星  $q_i$  の赤経  $\phi_i$  と赤緯  $\theta_i$  は星表を用いて求められる。そして(2)式を用いて恒星  $q_i$  の方向余弦  $(l_i, m_i, n_i)$

\* 差や焦点ずれ等のカメラ100に関する補正パラメータが算出される。これらの補正パラメータはシステムコントロール回路20に出力される。

【0027】システムコントロール回路20により、画像信号処理回路16からの記録画像1枚分の画像データ、センサ制御回路40からの回転角データ、キャリブレーション装置50からの補正パラメータ、および撮影日時、ファイル名などの情報が画像記録制御回路22に出力され、画像記録制御回路22ではこれらの情報を結合して、所定の記録様式に沿った記録用データが生成され、例えばICメモ리카ード24等の記録媒体に記録される。

【0028】次に、キャリブレーション装置50におけるキャリブレーション処理について詳述する。

【0029】図2は、撮影者を中心とする天球Rにおいて、撮影地点Mと4つの恒星  $q_1, q_2, q_3, q_4$  との位置関係を示す図である。Z軸は天頂方向であり、X軸は北方向、Y軸は西方向である。この3次元直交座標系(X, Y, Z)が基準座標系に定められる。恒星  $q_i$  ( $i = 1 \sim 4$ ) には例えば識別しやすい星座の1等星などが選ばれる。

【0030】恒星  $q_i$  は撮影者からの距離は実際にはそれぞれ異なるが、全て一律の距離だけ離れている、即ち天球R上にある点  $q_i'$  とみなされる。星図はこの天球R上の点  $q_i'$  の位置を示すものである。天球Rは計算上の球面であり半径は定まらないので、点  $q_i'$  即ち恒星  $q_i$  の位置は赤経  $\phi_i$  と赤緯  $\theta_i$  により求められる方向余弦  $(l_i, m_i, n_i)$  で表わされる。方向余弦  $(l_i, m_i, n_i)$  は次の(2)式により求められる。なお図の複雑化を避けるために、図2には恒星  $q_1$  の赤経  $\phi_1$  および赤緯  $\theta_1$  と、恒星  $q_2$  の赤経  $\phi_2$  および赤緯  $\theta_2$  のみが示される。

【0031】

【数2】

$(l_i, m_i, n_i)$  が求められる。このときカメラ100の移動量は、撮影地点Mから恒星  $q_i$  までの距離に対してほとんど無視できるほど小さいので、撮影地点Mは  $n$  枚の写真において同一であるとみなされる。また撮影地点Mはカメラ



100の前側主点位置と同一であることとする。

【0033】図3は、4つの恒星 $q_1$ 、 $q_2$ 、 $q_3$ 、 $q_4$ を連続して2回撮影したとき( $n=2$ )の、カメラ100と恒星 $q_1$ 、 $q_2$ 、 $q_3$ 、 $q_4$ との位置関係を示す図である。第1および第2の撮影はほぼ同時刻におこなわれることとし、恒星 $q_1$ 、 $q_2$ 、 $q_3$ 、 $q_4$ の位置は第1の撮影と第2の撮影とにおいて同一であるとみなす。第1の撮影と第2の撮影とでは撮影する方向、即ち光軸方向が異なる。

【0034】図3(a)は、第1の撮影を行ったときのカメラ100と、恒星 $q_1$ 、 $q_2$ 、 $q_3$ 、 $q_4$ との位置関係を示す図である。図3(b)は、第1の撮影とは異なる方向から第2の撮影を行ったときのカメラ100と、恒星 $q_1$ 、 $q_2$ 、 $q_3$ 、 $q_4$ との位置関係を示す図である。第1及び第2の撮影の方向はそれぞれカメラ100の光軸 $O_1$ 及び $O_2$ により示される。

【0035】第 $j$ 番目( $j=1\sim 2$ )の撮影において、カメラ100の前側主点位置 $M_j$ を原点とし、カメラ100の光軸方向を $z_j$ 軸とする右手系の3次元直交座標系が、座標系 $j(x_j, y_j, z_j)$ に定められる(図4参照)。上述したように、前側主点位置 $M_1$ および $M_2$

は実質的に同一であるとみなされる。

【0036】カメラ光軸 $O_j$ は回転角( $\alpha_j, \beta_j, \gamma_j$ )で示されるが、 $\alpha_j$ は基準座標系のX軸に対する $x_j$ 軸の回転角度であり、同様に $\beta_j$ はY軸に対する $y_j$ 軸の回転角度、 $\gamma_j$ はZ軸に対する $z_j$ 軸の回転角度である。この回転角( $\alpha_j, \beta_j, \gamma_j$ )は、回転角センサ42、43、44によりそれぞれ独立して測定され、画像データとともにメモリ52に記憶される。

【0037】図4は恒星 $q_i$ と、焦点面である各スクリーン $S_j$ における恒星 $q_i$ の像点 $Q_{ij}$ と、前側主点位置 $M_j$ との位置関係を3次元的に示す模式図である。図4(a)は図3(a)に対応しており、第1の撮影における模式図である。図4(b)は図3(b)に対応しており、第2の撮影における模式図である。

【0038】基準座標系(X, Y, Z)における光軸方向 $O_j(\alpha_j, \beta_j, \gamma_j)$ が測定されることにより、恒星 $q_i$ の座標系 $j(x_j, y_j, z_j)$ における3次元位置、即ち方向余弦( $l_{ij}, m_{ij}, n_{ij}$ )は、例えば(3)式を用いて求められる。

【0039】

【数3】

$$\begin{pmatrix} l_{ij} \\ m_{ij} \\ n_{ij} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} T_{11} & T_{12} & T_{13} \\ T_{21} & T_{22} & T_{23} \\ T_{31} & T_{32} & T_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} l_i \\ m_i \\ n_i \end{pmatrix} \quad \dots (3)$$

$(l_{ij}, m_{ij}, n_{ij})$  : 座標系  $j$  における

恒星  $q_i$  の方向余弦

ただし、

$$T_{11} = \cos \beta_j \cdot \cos \gamma_j$$

$$T_{12} = \cos \alpha_j \cdot \sin \gamma_j + \sin \alpha_j \cdot \sin \beta_j \cdot \cos \gamma_j$$

$$T_{13} = \sin \alpha_j \cdot \sin \gamma_j - \cos \alpha_j \cdot \sin \beta_j \cdot \cos \gamma_j$$

$$T_{21} = -\cos \beta_j \cdot \sin \gamma_j$$

$$T_{22} = \cos \alpha_j \cdot \cos \gamma_j - \sin \alpha_j \cdot \sin \beta_j \cdot \sin \gamma_j$$

$$T_{23} = \sin \alpha_j \cdot \cos \gamma_j + \cos \alpha_j \cdot \sin \beta_j \cdot \sin \gamma_j$$

$$T_{31} = \sin \beta_j$$

$$T_{32} = -\sin \alpha_j \cdot \cos \beta_j$$

$$T_{33} = \cos \alpha_j \cdot \cos \beta_j$$

【0040】理想的な撮影光学系を用いれば、被写体の1点から出た光線は、撮影光学系12を通して光軸 $O_j$ に垂直な平面である焦点面、即ちスクリーン $S_j$ 上に完全な1点となって集光し点像がつくられる。即ち、恒星 $q_i$ とその像点 $Q_{ij}$ と撮影光学系12の前側主点位置 $M_j$ とは一直線上にある。従って計算上では被写体が平面物体であれば、撮影光学系による被写体像は、被写体の正確な相似形としてスクリーン $S_j$ 上に形成される。

40

【0041】上記のことを利用して、恒星 $q_i$ を焦点面であるスクリーン $S_j$ 上に投影した像点 $Q_{ij}$ の2次元座標 $(X_{ij}, Y_{ij})$ が、(4)式によって求められる。なお、(4)式において、 $f$ は後側主点位置とスクリーン $S_j$ との距離（以下、焦点距離という）を示す。

【0042】

【数4】

$$\begin{pmatrix} X_{ij} \\ Y_{ij} \end{pmatrix} = f \begin{pmatrix} l_{ij} / n_{ij} \\ m_{ij} / n_{ij} \end{pmatrix} \quad \dots (4)$$

$(X_{ij}, Y_{ij})$  : スクリーン  $S_j$  における

恒星  $q_i$  の計算上の像点座標

【0043】図5は、第1の撮影において計算上の撮像面であるスクリーン  $S_1$  と実際のCCDの撮像面である画像  $MS_1$  とを示した模式図である。図5において、破線で示されるスクリーン  $S_1$  における座標系を  $(X_1, Y_1)$  とし、 $X_1$  軸と  $Y_1$  軸の交点、即ちスクリーン  $S_1$  の像面中心を  $C_1$  とする。同様に実線で示される画像  $MS_1$  における座標系を  $(MX_1, MY_1)$  とし、 $MX_1$  軸と  $MY_1$  軸の交点である画像  $MS_1$  の像面中心を  $M C_1$  とする。

【0044】恒星  $q_1, q_2, q_3, q_4$  のスクリーン  $S_1$  上の計算上の像点位置はそれぞれ  $Q_{11}(X_{11}, Y_{11}), Q_{21}(X_{21}, Y_{21}), Q_{31}(X_{31}, Y_{31}), Q_{41}(X_{41}, Y_{41})$  で示される。また恒星  $q_1, q_2, q_3, q_4$  の画像  $MS_1$  上の実測像点位置はそれぞれ  $MQ_{11}(MX_{11}, MY_{11}), MQ_{21}(MX_{21}, MY_{21}), MQ_{31}(MX_{31}, MY_{31}), MQ_{41}(MX_{41}, MY_{41})$  で示される。

【0045】(4)式によって求められたスクリーン  $S_j$  における恒星  $q_i$  の計算上の像点位置  $Q_{ij}(X_{ij}, Y_{ij})$  は、実測像点位置  $MQ_{ij}(MX_{ij}, MY_{ij})$  と一致することが望ましい。しかし実際の撮影光学系では、特\*

\*に球面レンズを使用している場合、被写体像は被写体の相似形とはならず、例えば本来直線になるべきものが曲がった像として投影される。写真測量では、特に横倍率が像の大きさによって異なる歪曲収差が直接測定誤差となる。

【0046】また、撮影光学系12の光軸  $O_j$  上にある焦点、即ちスクリーン  $S_j$  の像面中心  $C_j$  と、画像の像面中心  $MC_j$  とは実際には一致せず、わずかなずれ量を有する。この像面中心  $C_j$  と  $MC_j$  とのずれを焦点ずれというが、焦点ずれは機構的要因、光学機構的要因、収差的要因などが原因で生じるものであり、例えばレンズの口径を変化させたり、可変焦点レンズやズームレンズで焦点距離を変化させたときに生じる。この焦点ずれも写真測量においては測量誤差の原因となる。

【0047】以上のことから、歪曲収差などによる誤差、あるいは像面中心のずれを補正するために、例えば(5)式に示す  $Karara$  の歪曲収差補正モデルを用いて、予測像点座標  $(CX_{ij}, CY_{ij})$  を求めている。

【0048】

【数5】

$$\left. \begin{aligned} CX_{ij} &= X_{ij}(1 + D_2 R_{ij}^2 + D_4 R_{ij}^4 + D_6 R_{ij}^6) + \\ &\quad (R_{ij}^2 + 2X_{ij}^2)P_1 + 2X_{ij}Y_{ij}P_2 + X_C \\ CY_{ij} &= Y_{ij}(1 + D_2 R_{ij}^2 + D_4 R_{ij}^4 + D_6 R_{ij}^6) + \\ &\quad 2X_{ij}Y_{ij}P_1 + (R_{ij}^2 + 2Y_{ij}^2)P_2 + Y_C \end{aligned} \right\} \dots (5)$$

ただし、

$(X_{ij}, Y_{ij})$  : 計算上の像点座標

$(CX_{ij}, CY_{ij})$  : 予測像点座標

$$R_{ij}^2 = X_{ij}^2 + Y_{ij}^2$$

【0049】なお、(5)式において、 $D_2, D_4, D_6, P_1, P_2$  は歪曲収差を示すディストーションパラ

メータであり、 $P_x$ 、 $P_y$ はCCDピッチ間隔を2次元座標で示す値、 $X_c$ 、 $Y_c$ は像面中心 $C_j$ と $MC_j$ とのずれ量を2次元座標で示す値である。9つのパラメータ $D_2$ 、 $D_4$ 、 $D_6$ 、 $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_x$ 、 $P_y$ 、 $X_c$ 、 $Y_c$ には、初期値が与えられる。 $f$ は焦点距離を示す。

【0050】さらに、(5)式により算出された恒星 $q_i$ の予測像点座標 $(CX_{ij}, CY_{ij})$ と、実際に撮影された画像 $MS_j$ から得られる恒星 $q_i$ の2次元座標、即\*

CCDピッチ間隔をパラメータに加えない場合  
(銀塩カメラの場合)

$$\Phi = \sum_i \left[ \sum_j \{ (CX_{ij} - NX_{ij})^2 + (CY_{ij} - NY_{ij})^2 \} \right] \quad (1)$$

CCDピッチ間隔をパラメータに加える場合  
(デジタルカメラの場合)

$$\Phi = \sum_i \left[ \sum_j \{ (CX_{ij}/P_x - MX_{ij})^2 + (CY_{ij}/P_y - MY_{ij})^2 \} \right]$$

ただし、

$(CX_{ij}, CY_{ij})$  : 予測像点座標

$(NX_{ij}, NY_{ij})$  : 記録画像(写真)上の像点座標(実測像点座標)

$(MX_{ij}, MY_{ij})$  : 記録画像(デジタル画像)上の像点座標(実測像点座標)

$(x_i, y_i, z_i)$  : 物点 $i$ の3次元座標

$(P_x, P_y)$  : CCDピッチ間隔

【0052】以上のように求められた9つの補正パラメータ $D_2$ 、 $D_4$ 、 $D_6$ 、 $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_x$ 、 $P_y$ 、 $X_c$ 、 $Y_c$ は、システムコントロール回路20に出力される。システムコントロール回路20は、実際の写真測量を行うときに、この算出された補正パラメータを画像信号処理回路16に出力する。

【0053】画像信号処理回路16における画像処理では、補正パラメータは初めにデフォルトの値が記憶されており、キャリブレーションが行われる前ではこのデフォルト値に基づいて処理される。キャリブレーションが行われた後の写真測量時では、キャリブレーション装置50によって求められた補正パラメータを用いて画像処理が行われる。従って画像処理において、正確な画像データ補正が出来、写真測量の精度が向上する。

【0054】本実施形態のカメラにおいては、共通して

\* ち実測像点座標 $(MX_{ij}, MY_{ij})$ との誤差が最小になるように、(1)式を用いて最適化が図られる。即ち

(1)式において、メリット関数 $\Phi$ の値を最小にする5つのディストーションパラメータ $D_2$ 、 $D_4$ 、 $D_6$ 、 $P_1$ 、 $P_2$ と、CCDピッチ間隔 $P_x$ 、 $P_y$ と、ずれ量 $X_c$ 、 $Y_c$ とが、減衰最小二乗法により求められる。

【0051】

【教1】

写し込まれた恒星の位置が星図等により正確に求められるので、複数の恒星同士の相対位置関係、およびカメラとの相対位置関係が明確である。従って複数の恒星が共通して写し込まれている画像が複数枚あれば正確な補正パラメータが求められ、精密な被写体を必要とすることなく、また時間のかかる設置作業も必要としない。

【0055】また画角の大きなカメラを使用する場合にも、距離の離れた恒星を共通点として選択すれば、大きな被写体を制作する必要がなく画像上で所定距離離れた共通点を得ることができ、正確な補正パラメータが求められる。また従来複数の撮影地点におけるカメラの相対位置を未知のパラメータとして演算していたが、本実施形態では撮影地点間の距離が恒星間の距離に対して実質的に0とみなせるので、カメラの相対位置は演算に必要な。従って未知のパラメータが減り補正パラメータの精

度がさらに向上する。

【0056】さらに撮影が夜間に行われるので、恒星は周りの空間（夜空）に対して輝度差が大きく画像上での識別が容易である。従って、異なる画像に写し込まれた共通の恒星を対応付けするための画像処理が簡単になり、特にデジタル処理を行う場合には輝度値のみで判別可能である。

【0057】なお、本実施形態では、恒星  $q_i$  の数を4点に定めているが、特に限定されることはなく、2点以上でもよい。同様に画像枚数  $n$  は2枚に限定されず、1枚又はそれ以上でもよい。恒星  $q_i$  および画像枚数  $n$  は多ければ多いほど、9つのパラメータ  $D_2$  ,  $D_4$  ,  $D_6$  ,  $P_x$  ,  $P_y$  ,  $P_1$  ,  $P_2$  ,  $X_c$  ,  $Y_c$  の精度は向上する。

【0058】また、本実施形態ではカメラにキャリブレーション装置が設けられる構成を示しているが、キャリブレーション装置がカメラ外部のコンピュータに設けられ、ICメモリカードに記録された画像データと回転角データとを読み出す構成にしてもよい。

【0059】

【発明の効果】本発明によると、精密な被写体を必要とせず、かつキャリブレーションの精度の高いカメラが得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明によるカメラの実施形態を示すブロック\*

\*図である。

【図2】天球における撮影者と恒星  $q_i$  との位置関係を示す模式図である。

【図3】カメラと恒星  $q_i$  との位置関係を3次的に示す模式図である。

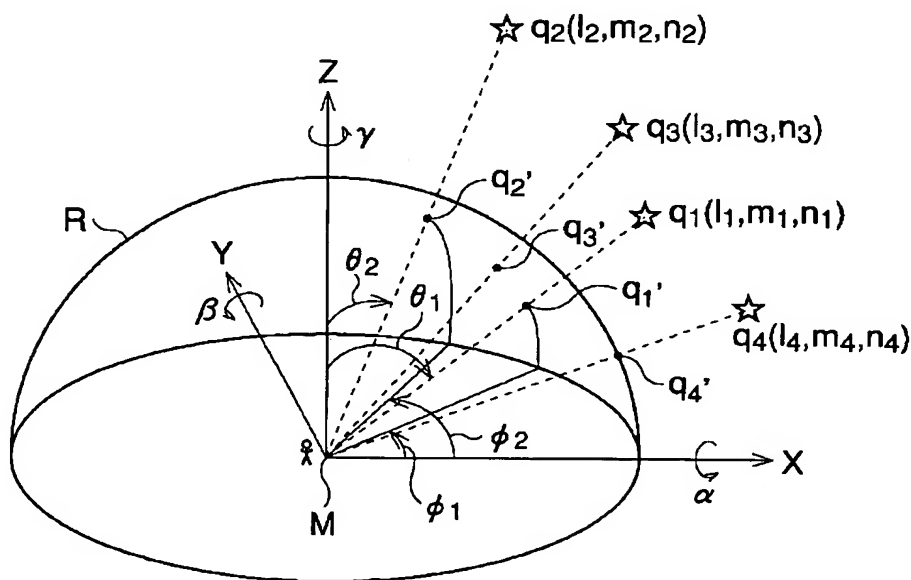
【図4】恒星  $q_i$  と、スクリーン  $S_i$  における像点  $Q_{ii}$  と、カメラの前側主点位置  $M_i$  との位置関係を3次的に示す模式図である。

【図5】スクリーン  $S_i$  における像点  $Q_{ii}$  と、画像  $MS_i$  における像点  $MQ_{ii}$  との関係を示す模式図である。

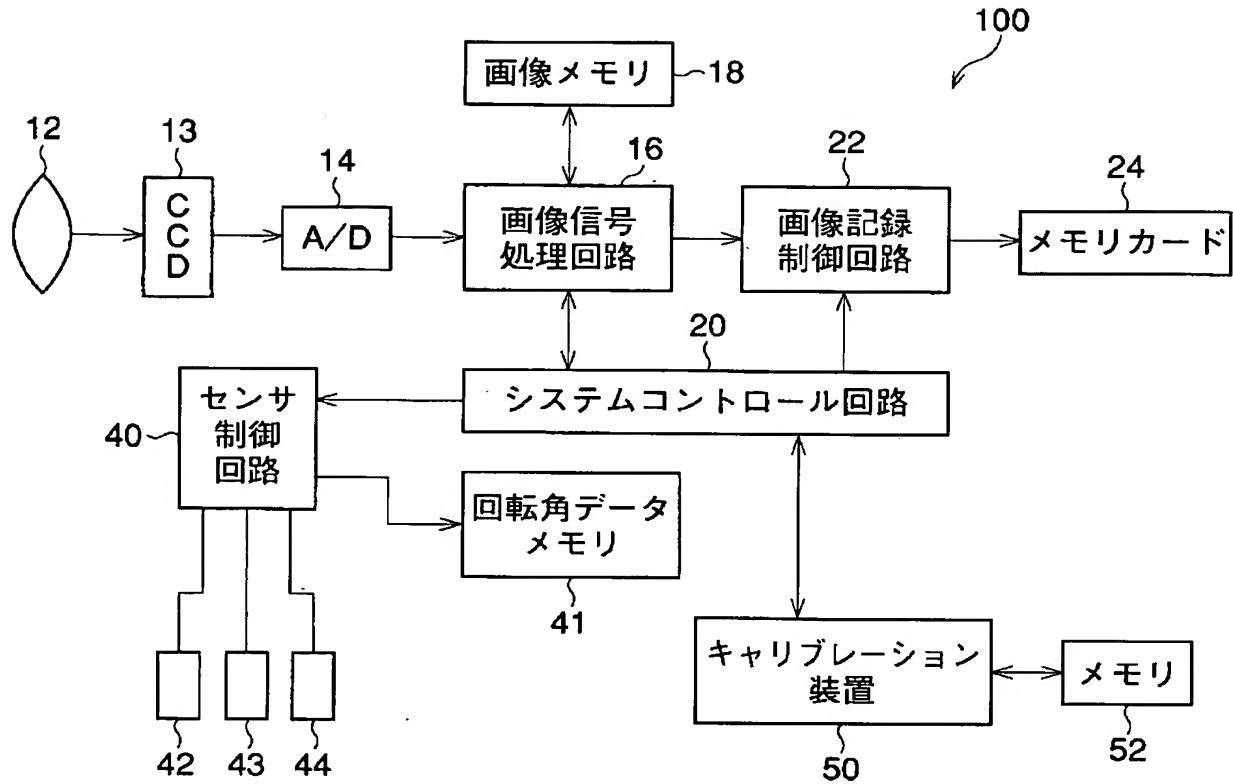
【符号の説明】

- 1 2 撮影光学系
- 1 3 CCD
- 1 4 A/D変換器
- 1 6 画像信号処理回路
- 1 8 画像メモリ
- 2 0 システムコントロール回路
- 2 2 画像記録制御回路
- 2 4 メモリカード
- 4 0 センサ制御回路
- 4 1 回転角データメモリ
- 4 2、4 3、4 4 回転角センサ
- 5 0 キャリブレーション装置
- 5 2 メモリ

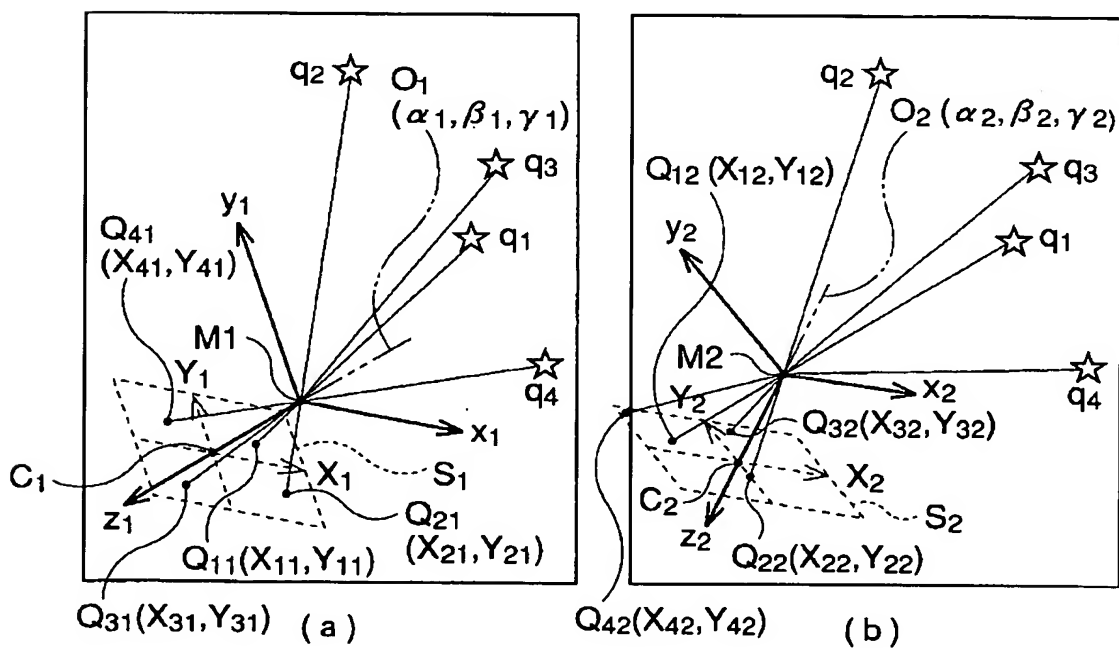
【図2】



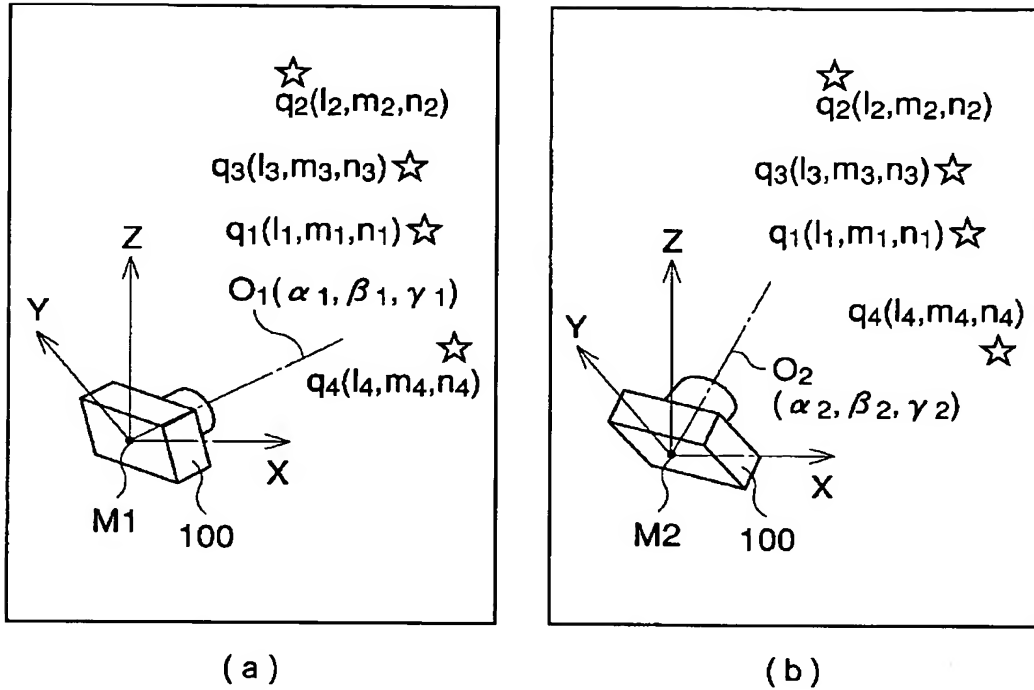
【図1】



【図4】



【図3】



【図5】

